

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО**  
**ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних робіт**

**з дисципліни**

***Системи контролю небезпечних та  
шкідливих виробничих факторів***

*(для студентів 4 курсу денної форми навчання  
галузь знань 1702 – «Цивільна безпека» напряму підготовки  
6.170202 – «Охорона праці»)*

**Харків – ХНУМГ ім. О.М. Бекетова – 2017**

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Системи контролю виробничих небезпечних та шкідливих факторів» (для студентів 4 курсу денної форми навчання галузь знань 1702 – «Цивільна безпека» напряму підготовки 6.170202 – «Охорона праці»). / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. Е. Абракітов, С. А. Грязнова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 16 с.

Рецензент: канд. техн. наук Я. О. Серіков

Затверджено на засіданні кафедри «Охорона праці та безпека життєдіяльності», протокол № 5 від 22.10.2014

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота №1 Дослідження зв'язку моделей систем та сигналів.....	4
Лабораторна робота №2 Дослідження стійкості САУ.....	6
Лабораторна робота №3 Синтез коректуючих ланцюгів.....	7
Лабораторна робота №4 Дослідження нелінійних САУ.....	9
Лабораторна робота №5 Дослідження оптимальних САУ.....	10
Лабораторна робота №6 Обробка сигналів в САУ.....	12
Лабораторна робота №7 Комп'ютерна реалізація законів управління...	14
Список джерел.....	15

## ВСТУП

При підготовці до лабораторних робіт студенти вивчають методичні вказівки до їх виконання, рекомендовану літературу, а також виконують підготовчу роботу у відповідності до теми завдання.

При підготовці до виконання лабораторних робіт необхідно дати повні відповіді на наведені контрольні запитання. Глибоке вивчення теоретичного матеріалу допоможе студентам успішно виконати роботу.

Необхідно також мати на увазі, що лабораторні роботи йдуть у порядку зростання складності, і у кожній наступній роботі використовуються знання, отримані у попередніх.

### ***Лабораторна робота №1*** ***Дослідження зв'язку моделей систем та сигналів***

**Мета роботи:** Опанування методами математичного моделювання систем та процесів управління.

#### **Короткі теоретичні відомості**

Передавальна функція лінійного динамічного елемента є відношенням зображення по Лапласу вихідного сигналу елемента до вхідного:

$$W(p)=y(p)/x(p)$$

Частотна передавальна функція отримується підстановкою у передавальну функцію  $j\omega$  замість  $p$ . Після цього звичайно виділяють дійсну та уявну частини функції

$$W(j\omega)=Re(\omega) + j*Im(\omega)$$

Звідси знаходять амплітудну та фазову частотні характеристики – АФЧХ:

$$A(\omega)=|W(\omega)|=\sqrt{Re^2(\omega)+Im^2(\omega)}$$

$$\Phi(\omega)=arg(W(\omega))=arctg(Im(\omega)/Re(\omega))$$

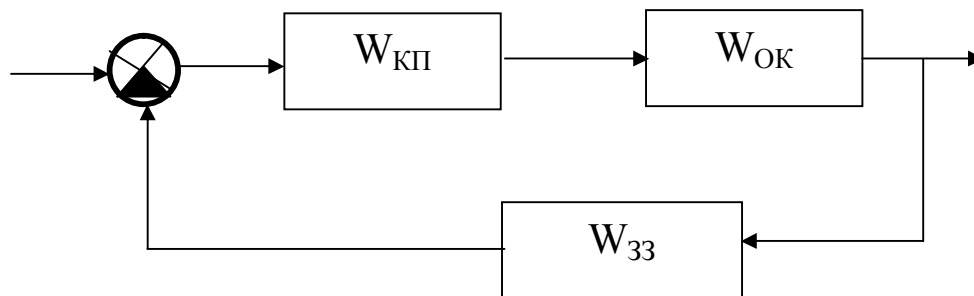
Далі знаходять відповідні логарифмічну амплітудно-частотну характеристику ЛАЧХ (Логарифмічна фазо-частотна характеристика ЛФЧХ не змінюється. Частота при побудові логарифмічних графіків змінюється у логарифмічному масштабі – декадами)

$$L(\omega)=10 \lg A(\omega)$$

Імпульсна перехідна функція  $g(t)$  є оригіналом по Лапласу від передавальної функції. Перехідна функція  $h(t)$  є інтегралом від  $g(t)$ .

### **Зміст роботи:**

1. Аналітично знайти комплекс математичних моделей (передаточну функцію, частотну передаточну функцію, амплітудно-частотну характеристику, фазо-частотну характеристику, логарифмічні амплітудно та фазочастотні характеристики, імпульсну перехідну функцію, перехідну функцію) системи автоматичного управління, структурна схема якої наведена на рисунку 1 у відповідності до варіантної мережі.



Варіант	$W_{КП}$	$W_{ОК}$	$W_{ЗЗ}$
1	$(3p^3+4p^2-5)/(2p^2+p-1)$	$(5p^2-2p+3)/(3p-1)$	$p$
2	$(3p^3+4p^2-2p+3)/(2p^2+3p-1)$	$(4p-5)/(2p^2+p-1)$	$1/p$
3	$(4p^2-5)/(3p^3-2p^2+p-1)$	$(3p^2+5)/(2p-1)$	$p$
4	$(4p^2-2p+5)/(2p-1)$	$(4p^2-5p)/(2p^2+p)$	$1/p$
5	$(3p^3+4p^2-5p)/(2p^2+p-1)$	$(3p^3+5)/(2p+1)$	$p$
6	$(3p^3+4p^2-5)/(2p^2+p)$	$(4p^2-5)/(p-1)$	$1/p$

2. Побудувати на комп'ютері графіки АФЧХ, ЛАФЧХ,  $g(t)$ ,  $h(t)$ .

### **Склад звіту:**

1. Титульний аркуш.
2. Опис аналітичних перетворень.
3. Отримані результати (формули, графіки).
4. Текст програм.
5. Висновки.

### **Контрольні питання**

1. Дати визначення всім динамічним характеристикам системи
2. Який математичний зв'язок існує між окремими динамічними характеристиками?

## **Лабораторна робота №2** **Дослідження стійкості САУ**

**Мета роботи:** Опанування методами дослідження стійкості систем.

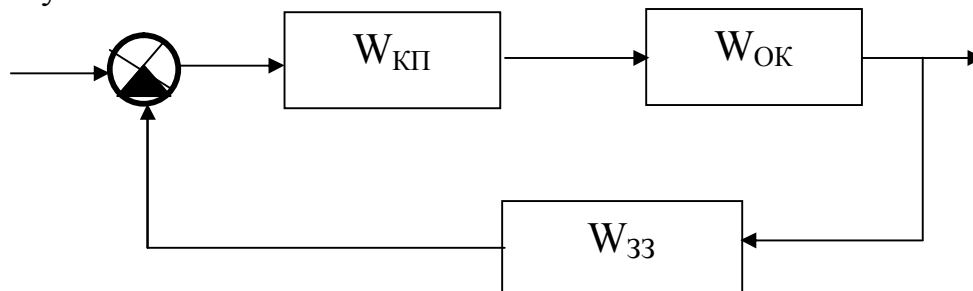
### **Короткі теоретичні відомості**

Найкраще дослідження стійкості виконувати на підставі частотних характеристик. Замкнена система стає нестійкою, якщо для якоїсь частоти зсув фази у замкненому від'ємним зворотнім зв'язком контурі дорівнює  $180^\circ$  (зворотній зв'язок перетворюється з від'ємного на додатний), а коефіцієнт передачі у контурі при цьому більший 1.

Перевірити умову стійкості можна за допомогою будь-якої частотної характеристики: АФЧХ (годограф), АЧХ+ФЧХ, ЛАЧХ+ЛФЧХ.

### **Зміст роботи:**

1. Аналітично знайти частотну передаточну функцію, амплітудно-частотну характеристику, фазо-частотну характеристику, логарифмічні амплітудно та фазочастотні характеристики системи автоматичного управління, структурна схема якої наведена на рисунку 1 у відповідності до варіанту.



Варіант	$W_{\text{КП}}$	$W_{\text{ОК}}$	$W_{\text{ЗЗ}}$
1	$(p^2-5)/(2p^2+p-1)$	$1/(3p+1)$	$p$
2	$(2p+3)/(2p^2+1)$	$(4p-5)/(2p^2+p+1)$	$p$
3	$(4p^2-5)/(2p^2+p+1)$	$5/(2p+1)$	$1$
4	$(4p^2-2p)/(2p-1)$	$4/(2p^2+p)$	$1/p$
5	$(3p^3+5)/(2p^2+p)$	$p/(2p+1)$	$p$
6	$(4p^2-5)/p$	$5/(p-1)$	$1/p$

2. Побудувати на комп'ютері графіки АЧХ+ФЧХ, ЛАЧХ+ЛФЧХ.
3. Зробити висновок про стійкість системи.
4. Визначити: для стійкої системи – запаси стійкості, для нестійкої системи – необхідне зменшення коефіцієнта передачі у замкненому контурі.

### ***Склад звіту:***

1. Титульний аркуш.
2. Опис аналітичних перетворень.
3. Отримані результати (формули, графіки).
4. Результати дослідження стійкості.
5. Висновки.

### **Контрольні питання**

1. Дати визначення стійкості системи
2. Критерій стійкості Рауса.
3. Критерій стійкості Найквіста.
4. Частотні критерії стійкості.

## ***Лабораторна робота №3*** ***Синтез коректуючих ланцюгів***

***Мета роботи:*** Опанування методами забезпечення стійкості і якості лінійних систем.

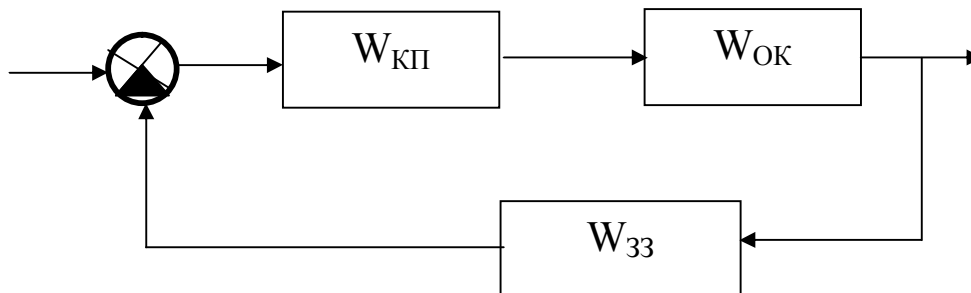
### **Короткі теоретичні відомості**

Необхідні характеристики стійкості та якості систем управління забезпечуються використанням відповідних коректуючих ланцюгів.

Найкраще синтез коректуючих ланцюгів виконувати на підставі логарифмічних частотних характеристик.

### ***Зміст роботи:***

1. Аналітично знайти логарифмічні амплітудно та фазочастотні характеристики системи автоматичного управління, структурна схема якої наведена на рисунку 1 у відповідності до варіанту.



Варіант	$W_{\text{КП}}$	$W_{\text{ОК}}$	$W_{\text{ЗЗ}}$
1	$(3p^3+5)/(2p^2+p)$	$1/(3p+1)$	$p$
2	$(4p^2-5)/p$	$(4p-5)/(2p^2+p+1)$	$p$
3	$(p^2-5)/(2p^2+p-1)$	$5p/(2p+1)$	$1$
4	$(2p+3)/(2p^2+1)$	$4/(2p^2+p)$	$1/p$
5	$(4p^2-5)/(2p^2+p+1)$	$p/(2p+1)$	$p$
6	$(4p^2-2p)/(2p-1)$	$(5p+1)/(p-1)$	$1$

2. Побудувати на комп'ютері графіки ЛАЧХ+ЛФЧХ.
3. Зробити висновок про стійкість системи, визначити запаси стійкості.
4. Побудувати бажану ЛАЧХ.
5. Знайти ЛАЧХ послідовного коректуючого ланцюга.
6. Синтезувати послідовний коректуючий ланцюг.
7. Побудувати ЛАЧХ+ЛФЧХ скоректованої системи та зробити висновок про її характеристики.

**Склад звіту:**

1. Титульний аркуш.
2. Опис аналітичних перетворень.
3. Отримані результати (формули, графіки).
4. Схема коректуючого ланцюга.
5. Висновки.

**Контрольні питання**

1. Показники якості систем управління.
2. Методи корекції систем управління.
3. Методика синтезу коректуючих ланцюгів на підставі логарифмічних характеристик.



## *Лабораторна робота №4*

### *Дослідження нелінійних САУ*

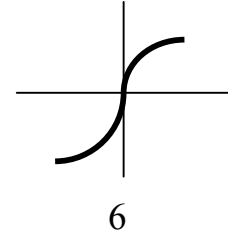
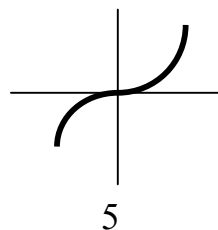
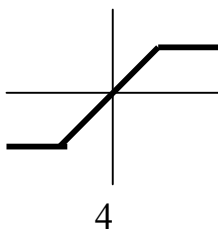
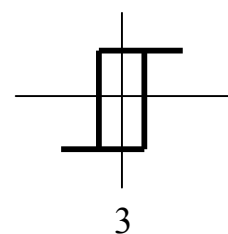
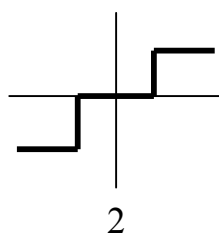
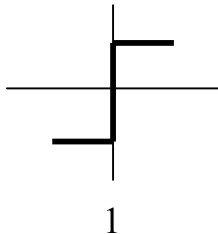
**Мета роботи:** Опанування методами дослідження стійкості нелінійних систем.

#### **Короткі теоретичні відомості**

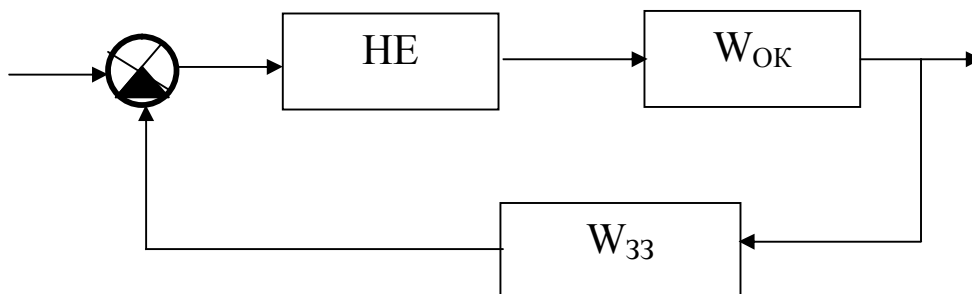
Найпростішим методом дослідження нелінійних САУ є метод гармонійної лінеаризації. Метод ґрунтується на визначенні коефіцієнта передачі нелінійного елемента по першій гармоніці вихідного сигналу.

#### **Зміст роботи:**

1. Знайти коефіцієнт гармонійної лінеаризації для нелінійного елемента у відповідності до варіанту.



2. Розрахувати логарифмічні амплітудно та фазочастотні характеристики системи автоматичного управління, структурна схема якої наведена на рисунку 1 у відповідності до варіанту.



Варіант	$W_{OK}$	$W_{33}$
1	$1/(3p+1)$	$p$
2	$(4p-5)/(2p^2+p+1)$	$p$
3	$5p/(2p+1)$	$1$
4	$4/(2p^2+p)$	$1/p$
5	$p/(2p+1)$	$p$
6	$(5p+1)/(p-1)$	$1$

3. Дослідити стійкість системи в залежності від амплітуди сигналу.

**Склад звіту:**

1. Титульний аркуш.
2. Опис аналітичних перетворень.
3. Отримані результати (формули, графіки).
4. Залежність коефіцієнту гармонійної лінеаризації від амплітуди сигналу.
5. Висновки.

**Контрольні питання**

- 1 Що таке «стійкість у малому» і «стійкість у великому»?
- 2 Методи дослідження нелінійних САУ.
- 3 Методика гармонійної лінеаризації.

***Лабораторна робота №5***  
***Дослідження оптимальних САУ***

**Мета роботи:** Опанування методами створення та використання алгоритмів оптимального керування.

**Короткі теоретичні відомості**

Задача оптимального управління полягає у знаходженні такого закону зміни керованих параметрів (параметрів оптимізації), який би забезпечив максимум (мінімум) певного критерію при умові обмежень, що накладаються на параметри та сигнали системи.

### **Зміст роботи:**

1. Розробити алгоритм оптимального керування у відповідності до варіанту.

№	Модель об'єкта	Критерій оптимальності	Параметри оптимізації		Обмеження	Метод оптимізації
			Назва	Діапазон		
1	$y = \frac{a}{bc}x$	$Q = 10y - (a - 3x)^2 + \sin(bc)$	$a$ $b$ $c$	0...6 0...4 0...4	Немає	Гradienta
2	$y = ax^{b/c}$	$Q = 10y - (a - 3)^2 + \cos(bx + c)$	$a$ $b$ $c$	0...6 0...4 0...4	Немає	Найшвидшого спуску
3	$y = \frac{a}{bc}x$	$Q = 10y - (a - 3x)^2 + \sin(bc)$	$a$ $b$ $c$	0...6 0...4 0...4	$xy < 5$	Понтрягіна
4	$y = ax + bx^2 + c/x - d$	$Q = 10dxy - (3ax)^2 \sin(bx + c)$	$a$ $b$ $c$ $d$	0...6 0...4 0...4 1...5	$y^2 < ab$	Гаусса-Зейделя
5	$y = ax + bx^2 + cd/x$	$Q = 10dxy - (3ax)^3 \cos(bx + c)$	$a$ $b$ $c$ $d$	0...6 0...4 0...4 1...5	$\frac{dy}{dx} < ab$	Випадковий пошук з поверненням
6	$y = ax + bx^2 + c/(dx)$	$Q = 10dxy - (3ax)^2 \sin(bx + c)$	$a$ $b$ $c$ $d$	0...6 0...4 0...4 1...5	Немає	Повний перебір

2. Скласти на мові програмування процедуру реалізації закону оптимального управління з вхідним параметром  $x$  і параметрами оптимізації як вихідними.

3. Скласти тестову програму для перевірки роботи розробленої процедури

### **Склад звіту:**

1. Титульний аркуш.
2. Опис метода оптимізації.
3. Тексти розроблених програм.
4. Побудовану поверхню критерія (сімейство поверхонь).
5. Висновки.

### **Контрольні питання:**

1. Сформулюйте метод градієнта
2. Сформулюйте метод найшвидшого спуску
3. Сформулюйте «принцип максимума» Понтрягіна
4. Сформулюйте метод Гаусса-Зейделя
5. Сформулюйте метод випадкового пошуку з поверненням
6. Сформулюйте метод повного перебору

## **Лабораторна робота №6**

### **Обробка сигналів в САУ**

**Мета роботи:** Опанування алгоритмами цифрової обробки сигналів в системах керування.

#### **Короткі теоретичні відомості**

**Статистична обробка** сигналів у системах керування може здійснюватися у множині значень і у часі. У першому випадку отримують різноманітні середні (моменти): середнє арифметичне, середнє квадратичне, дисперсію, асиметрію, ексцес тощо, а також гістограму закону розподілення ймовірностей. У другому випадку отримують усереднені характеристики зміни параметрів сигналу у часі: кореляційну функцію (коефіцієнт кореляції) і пов'язану з спектральну щільність потужності.

**Оцінка моментів у реальному масштабі часу.** Ця задача аналогічна лінійній низькочастотній фільтрації. Якщо заздалегідь відомо, що вхідний випадковий процес (вхідний сигнал) стаціонарний, тобто його моменти не змінюються у часі і його тривале інтегрування тільки підвищує точність оцінки, то доцільно використовувати алгоритм аналогічний ідеальній фільтрації. Але найчастіше зустрічаються випадки, коли моменти можуть змінюватися у часі – тоді використовуються алгоритми аналогічні реальному фільтру НЧ.

**Екстраполяція даних** використовується при побудові адаптивних систем з прогнозуванням керованого процесу. Алгоритм екстраполяції залежить від вибору екстраполюючої функції. Але у будь-якому випадку для екстраполяції  $n$ -го порядку необхідно зберігати  $n$  даних у буфері зі структурою черги.

**Лінійна фільтрація.** Всі лінійні фільтри є інерційними елементами. Тому для обчислення результату фільтрації вони використовують не одне, а декілька останніх значень вхідного сигналу. Ступінь інерційності фільтра (тобто кількість вхідних даних, що враховуються) визначається сталою часу і порядком фільтра та інтервалом надходження вхідних даних. Особливість таких алгоритмів фільтрації полягає в утворенні черги вхідних даних. Довжина черги відповідає умові

$$N \geq 5 k (T_{\phi} / \tau)$$

де  $N$  – кількість елементів черги;

$k$  – порядок фільтра;

$T_{\phi}$  – стала часу фільтра;

$\tau$  – інтервал надходження даних.

Синтез алгоритмів фільтрації складає окрему і часто складну математичну задачу. У загальному випадку лінійний фільтр описується передаточною функцією  $W(p)$  у вигляді раціонального дробу. Доведено,

що такий дріб може бути представлений добутком певної кількості елементарних виразів:

$$T_p, T_{p+1}, 1/T_p, 1/(T_{p+1}), T_1 p^2 + T_2 p + 1, 1/(T_1 p^2 + T_2 p + 1)$$

Для виконання фільтрації зі складною  $W(p)$  слід розкласти її на множники та послідовно виконати процедури фільтрації, що відповідають кожному множнику.

У досить простих випадках можна обійтися використанням фільтрів низьких та високих частот та їх комбінаціями. Фільтри низьких частот будуються на основі алгоритмів чисельного інтегрування, а фільтри високих частот відповідно диференціювання вхідних даних у реальному масштабі часу.

**Нелінійна фільтрація** враховує не тільки зміну сигналу у часі, але й розподіл даних за значеннями. Параметри такого нелінійного фільтру залежать від значень вхідних даних.

### ***Зміст роботи:***

1. Розробити програму генерації вхідного сигналу у відповідності до способу наступної обробки. Значення сигналу записувати у файл.
2. Розробити програму обробки сигналу у відповідності до варіанту:
  - a) обчислення поточного середнього та поточного СКВ
  - b) обчислення інтервалу кореляції (групової затримки)
  - c) фільтрація високих та низьких частот
  - d) лінійна та квадратична екстраполяція
  - e) нелінійна фільтрація високочастотних викидів
3. Вхідні дані читати з згенерованого файлу. Результати записати у текстовий файл.

### ***Склад звіту:***

1. Титульний аркуш
2. Короткі теоретичні відомості
3. Тексти програм
4. Файли даних
5. Висновки

### **Контрольні запитання**

1. Назвіть основні види обробки сигналів в САУ
2. Черга як базова структура для обробки даних в динамічній системі
3. Методи генерації тестових послідовностей
  - a) випадкових
  - b) гармонійних
  - c) періодичних
  - d) змішаних

## **Лабораторна робота №7**

### **Комп'ютерна реалізація законів управління**

**Мета роботи:** Дослідження властивостей цифрових систем керування.

#### **Короткі теоретичні відомості**

Закон управління – це правило обчислення керуючого сигналу  $u$  на основі уставки (задаючого сигналу)  $x$  і параметрів стану об'єкта  $v$ .

Найпростішими є лінійні закони управління:

1) Пропорційний – П

$$u = k(x - v)$$

2) Інтегральний – І

$$u = k \int_0^t (x - v) dt$$

3) Диференціальний – Д

$$u = k \frac{d(x - v)}{dt}$$

4) Пропорційно-інтегральний – ПІ

$$u = k_1(x - v) + k_2 \int_0^t (x - v) dt$$

5) Пропорційно-диференціальний (форсуючий) – ПД

$$u = k_1(x - v) + k_2 \frac{d(x - v)}{dt}$$

6) Пропорційно-інтегрально-диференціальний – ПІД

$$u = k_1(x - v) + k_2 \int_0^t (x - v) dt + k_3 \frac{d(x - v)}{dt}$$

#### **Порядок роботи**

1. Скласти програму реалізації закону управління у відповідності до варіанту

- а) інтегральний
- б) пропорційно-інтегральний
- в) форсуючий
- г) пропорційно-інтегрально-диференціальний

2. Промоделювати реакцію САУ на ступінчастий вхідний сигнал

3. Промоделювати реакцію САУ на випадковий вхідний сигнал з випадковими моментами надходження даних

### **Склад звіту**

1. Мета роботи
2. Короткі теоретичні відомості
3. Текст програми
4. Графіки вхідних та вихідних даних
5. Висновки

### **Контрольні запитання**

1. Для чого використовується  
П-регулятор  
ПІ-регулятор  
І-регулятор  
ПД-регулятор  
ПІД-регулятор
2. Як задається та вимірюється час у програмах реального часу?

### **СПИСОК ДЖЕРЕЛ**

1. Теория автоматического управления / Под ред. А. А. Воронова. – Москва : Высшая школа, 1977.
2. Настройка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами / Под ред. А. С. Ключева. – Москва : Энергия, 1977.
3. В. М. Дубовой, Р. Н. Кветний. Програмування комп'ютеризованих систем управління та автоматики. – Вінниця: ВДТУ, 1997.
4. Ж. Макс. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. – Москва : Мир, 1983.
5. М. Краус и др. Сбор данных в управляющих вычислительных системах. – Москва : Мир, 1987.

Навчальне видання

Методичні вказівки  
до лабораторних робіт  
з дисципліни

**«Системи контролю небезпечних та шкідливих  
виробничих факторів»**

*(для студентів 4 курсу денної форми навчання галузь знань  
1702 – «Цивільна безпека» напряму підготовки  
6.170202 – «Охорона праці»)*

**Укладачі: АБРАКІТОВ Володимир Едуардович  
ГРЯЗНОВА Світлана Аркадіївна**

Відповідальний за випуск *В. Е. Абракітов*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2014, поз. 120М

Підп. до друку 22.10.2014

Друк на різнографі.

Зам. №

---

Формат 60x84/16

Ум. друк. арк. 0,4

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002

Електронна адреса: [rektorat@kname.edu.ua](mailto:rektorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017 р.